

03P104145

310

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
21. Februar 2002 (21.02.2002)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 02/15361 A1**

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: H02H 9/02, 7/26

(72) Erfinder: AHLF, Gerd; Langenlohe 8, 91369 Wiesenthau (DE). WACKER, Bernd; Haundorferstr. 2A, 91074 Herzogenaurach (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE01/03056

(81) Bestimmungsstaaten (*national*): BR, KR, ZA.

(22) Internationales Anmeldeatum: 17. August 2001 (17.08.2001)

(84) Bestimmungsstaaten (*regional*): europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).

(25) Einreichungssprache: Deutsch

Veröffentlicht:

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

— mit internationalem Recherchenbericht  
vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

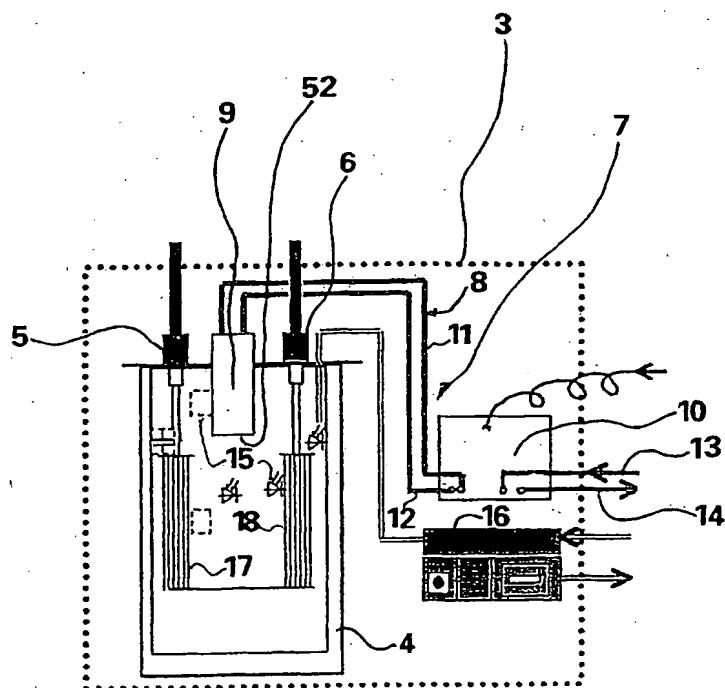
(30) Angaben zur Priorität:  
100 40 231.3 17. August 2000 (17.08.2000) DE

(71) Anmelder: SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: INSTANT TRIPPING DEVICE FOR SHORT CIRCUITS IN ELECTRICAL DC AND AC NETWORKS OF SURFACE AND UNDERWATER VESSELS, ESPECIALLY COMBAT VESSELS, AND OFFSHORE INSTALLATIONS

(54) Bezeichnung: VORRICHTUNG ZUR SOFORTABSCHALTUNG BEI KURZSCHLÜSSEN IN ELEKTRISCHEN DC- UND AC-NETZEN VON ÜBER- UND UNTERWASSERSCHIFFEN, INSbesondere KAMPFSCHIFFEN, UND OFFSHORE-ANLAGEN



(57) Abstract: The invention relates to an instant tripping device for short circuits in electrical DC and AC networks of surface and underwater vessels, especially combat vessels, and offshore installations. The aim of the invention is to improve a device of this type in such a way as to reduce the effects of thermal and dynamic stresses, due to physical factors, that occur during short circuits as far as possible and to increase availability and manoeuvrability. To this end, the instant tripping device has at least one high-temperature superconducting current limiter (3).

(57) Zusammenfassung: Um eine Vorrichtung zur Sofortabschaltung bei Kurzschlüssen in elektrischen DC- und AC-Netzen von Über- und Unterwasserschiffen, insbesondere Kampfschiffen, und Offshore-Anlagen, derart weiterzubilden, daß möglichst aus physikalischen Gründen geringere Auswirkungen durch thermische bzw. dynamische Beanspruchungen bei Kurzschlüssen sowie eine erhöhte Verfügbarkeit und Manövriertfähigkeit entstehen, wird vorgeschlagen, daß die Vorrichtung zur Sofortabschaltung zumindest einen Hochtemperatur-Supraleitungs(HTSL)-Strombegrenzer (3) aufweist.

WO 02/15361 A1

**WO 02/15361 A1**



*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

### Beschreibung

Vorrichtung zur Sofortabschaltung bei Kurzschlüssen in elektrischen DC- und AC-Netzen von Über- und Unterwasserschiffen,  
5 insbesondere Kampfschiffen, und Offshore-Anlagen

Die Erfindung bezieht sich auf eine Vorrichtung zur Sofortabschaltung bei Kurzschlüssen in elektrischen DC- und AC-Netzen von Über- und Unterwasserschiffen, insbesondere Kampfschiffen, und Offshore-Anlagen.  
10

Derartige als Bordnetze und elektrische Fahranlagen ausgebildete DC- und AC-Netze sind dem Charakter nach Inselnetze und unterliegen in ihrem Betrieb besonderen Anforderungen.

15 DC-Netze bzw. Gleichstromanlagen sind beispielsweise in Unterwasserschiffen weit verbreitet. Bei den bisher gelieferten Gleichstromanlagen und geplanten neuen Gleichstromanlagen für Unterwasserschiffe sind prospektive Summenkurzschlußströme von ca. 100 bis max. 320 kA möglich, was im Kurzschlußfall infolge hoher mechanischer Kräfte durch Stoßströme zu einer erheblichen dynamischen und thermischen Belastung der gesamten Gleichstromanlage führt.

25 AC-Netze bzw. Drehstromanlagen sind als elektrische Fahranlagen in Überwasserschiffen weit verbreitet. In derartigen Überwasserschiffen treten insbesondere bei großen Bordnetzleistungen hohe Kurzschlußleistungen auf. Die betriebsmäßige ständige Kopplung von Teilanlagen bzw. Teilnetzen ist nicht  
30 mehr möglich. Eine hohe Kurzschlußleistung ist unerwünscht, und zwar wegen der thermischen und dynamischen Kurzschlußstrombeanspruchungen der elektrischen Anlagen und Geräte. So weit es um Verringerung der Netzrückwirkungen, Verbesserung der Spannungsstabilität bzw. der Schaffung eines steiferen  
35 Netzes bei niedrigerer Netzimpedanz, Verbesserung des Betriebsverhalten des Netzes sowie der Erhöhung der Versorgungssicherheit geht, ist sie dagegen erwünscht. Die Ausle-

gung derartiger Drehstromanlagen ist daher ein Kompromiß zwischen machbaren Kurzschlußleistungen und mehr oder weniger guten Netzverhältnissen.

5 Die Höhe des Kurzschlußstromes richtet sich nach der Fehlerimpedanz am Kurzschlußort sowie nach den Beiträgen durch die Quellen, welche noch durch verbindende Schienen beeinflußt werden. Die Kurzschlußstrombeiträge der Quellen richten sich nach deren Impedanz.

10

Aus dem Stand der Technik bekannte Vorrichtungen zur Sofortabschaltung sind beispielsweise Leistungsschalter, die in DC- und AC-Netzen eingesetzt werden können. Entsprechende in AC- und DC-Netzen einsetzbare Leistungsschalter müssen für die zu erwartenden dynamischen Beanspruchungen dimensioniert werden. Leistungsschalter in DC-Netzen müssen nach extremen Kurzschlußabschaltungen gewartet werden, wobei ggf. Leistungsschalter ausgetauscht werden müssen.

15

Darüber hinaus werden in DC-Netzen als Vorrichtung zur Sofortabschaltung Sollschmelzstellen eingesetzt. Diese dienen der Strombegrenzung bei hohen Kurzschlußströmen und sind querschnittsmäßig optimierte Kupferverbinder, welche bei Überschreitung des Jouleintegrals schmelzen. Der Abzweig bzw. 25 das Teilnetz, in dem sich die Sollschmelzstelle befindet, ist dann nicht mehr zu versorgen; die Sollschmelzstelle muß zunächst ausgetauscht werden.

30

Darüber hinaus sind sowohl in DC- als auch in AC-Netzen als Vorrichtungen zur Sofortabschaltung Sicherungen im Einsatz; diese brennen im Kurzschlußfall durch und müssen vor Wiederaufnahme des Betriebs ebenfalls gewechselt werden.

35

Darüber hinaus sind als Vorrichtungen zur Sofortabschaltung Halbleiterschalter in Gebrauch; derartige Halbleiterschalter haben vergleichsweise hohe Durchlaßverluste, welche permanent im Betrieb entstehen. Weiterhin ist das Abschaltvermögen we-

gen der zulässigen Ladungsträgerdichte begrenzt. Darüber hinaus wird als Schutzmaßnahme vorgeschlagen, DC- und AC-Netze, die jeweils mehrere Teilnetze aufweisen, mit offener Netz-  
kupplung zu betreiben. In einem DC- bzw. Gleichstromnetz können sich Batterien unterschiedlich entladen. Die Gefahr hoher Ausgleichsströme bei Einlegen der Kupplung steigt mit der Spannungsdifferenz zwischen den beiden Teilnetzen. Im AC- bzw. Drehstromnetz ergibt sich eine schlechtere Verfügbarkeit bei Ausfall der Erzeugung in einem Teilnetz, da erst nach Erkennen dieses Ausfalls die Netzkupplung eingelegt werden kann. Die motorischen Verbraucher an der beeinflußten Schiene können unter das Kippmoment fallen und dann nur noch mit Schwierigkeiten oder nicht mehr hochlaufen.

Darüber hinaus können weitere von Spannungseinbruch gefährdeten Geräte wie z.B. Elektronik, Computer etc. Schaden erleiden, beispielsweise auch Datenverlust. Spannungseinbrüche gibt es sowohl bei Ausfall der Energieerzeugung wie auch bei Kurzschlüssen. Bei Kurzschlüssen pendeln alle elektrischen Parameter des Netzes, weshalb es zu weiteren Schutzabschaltungen bis hin zum Black Out kommen kann. Besonders bei Einsatz von DC- bzw. AC-Netzen auf Kampfschiffen für Marineanwendungen ist jedoch ein sicheres Bordnetz überlebenswichtig.

So bestehen z.B. in DC bzw. Gleichstromnetzen noch höhere Sicherheitsanforderungen. Bei den hier bisher verwendeten Kurzschlußkonzepten sind entweder alle Quellen und Verbraucher direkt zusammengeschaltet oder die Teilnetze der Fahr- und Bordnetzanlage sind über Leistungsschalter oder Spezialsicherungen zusammengeschaltet. Im Kurzschlußfall werden die Teilnetze getrennt und dadurch die maximalen Kurzschlußströme nahezu halbiert. Eine weitere Reduzierung erfolgt bisher durch den Einsatz von Sollschmelzstellen. Diese Sollschmelzstellen müssen nach einer Kurzschlußabschaltung ausgetauscht und die Leistungsschalter ggf. aufgearbeitet oder ausgewechselt werden. Nach einem solchen Kurzschlußfall ist ein Unter-

wasserschiff nur bedingt oder nicht manövrierfähig, je nach Schutzkonzept und Kurzschlußort.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Vorrichtung 5 zur Sofortabschaltung bei Kurzschlägen in elektrischen DC- und AC-Netzen von Über- und Unterwasserschiffen, insbesondere Kampfschiffen, und Offshore-Anlagen zu schaffen, mittels der erreicht wird, daß bei Auftreten von Kurzschlägen weite Teile des DC- oder AC-Netzes unbeeinflußt bleiben bzw. weiter 10 betrieben werden können, wobei darüber hinaus thermische und dynamische Beanspruchungen durch Kurzschlüsse weitestgehend verhindert werden sollen.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß die 15 Vorrichtung zur Sofortabschaltung zumindest einen Hochtemperatur-Supraleitungs(HTSL)-Strombegrenzer aufweist. Durch den Einsatz von HTSL-Strombegrenzern wird erreicht, daß der Strom bereits im ersten Stromanstieg begrenzt wird. Danach erst erfolgt eine mechanische Abschaltung, beispielsweise durch einen Leistungsschalter. Nach dem Abschalten eines Kurzschlusses kann der HTSL-Strombegrenzer wieder in den Stromzweig 20 eingebracht werden. Der Einsatz von HTSL-Strombegrenzern hat beispielsweise in Schaltanlagen von Unterwasserschiffen eine schnelle resistive Strombegrenzung im Fehlerfall, reduzierte 25 mechanische und thermische Belastungen sowie eine Aufrechterhaltung des Betriebs im fehlerfreien Teilnetz zur Folge. Letzteres ist von besonderer Bedeutung für die zunehmende Anzahl von Verbrauchern mit Leistungselektronik. Die Manövriertfähigkeit eines Unterwasserschiffes ist daher beim Einsatz 30 von HTSL-Strombegrenzern als Vorrichtung zur Sofortabschaltung weitaus besser gewährleistbar.

Durch den Einsatz von HTSL-Strombegrenzern sind im Vergleich zum Stand der Technik sehr schnell besonders hohe unbeeinflusste Kurzschlußströme bzw.  $di/dt$  begrenzbar. 35

Die erfindungsgemäß mit Hilfe von HTSL-Strombegrenzern ausgestaltete Vorrichtung zur Sofortabschaltung ist zweckmäßig-  
gerweise im DC-Netz bzw. AC-Netz in Kombination mit bisher im  
DC-Netz bzw. AC-Netz eingesetzten Schalt- und Schutzorganen,  
5 z.B. Sollschmelzstellen, Leistungsschaltern ud.dgl. einsetz-  
bar.

Wenn der HTSL-Strombegrenzer in Reihe mit einem Leistungs-  
schalter oder ggf. Lasttrennschalter angeordnet ist, kann der  
10 Leistungsschalter bzw. Lasttrennschalter konstruktiv auf kur-  
ze Ausschaltzeiten optimiert werden, wobei auf eine hohe dy-  
namische Kurzschlußfestigkeit nicht geachtet werden muß.

Wenn ein HTSL-Strombegrenzer in einer Teilnetze des elektri-  
15 schen Netzes verbindenden Netzkupplung angeordnet ist, ist es  
möglich, die Teilsysteme ständig nahezu rückwirkungsfrei zu  
kuppeln. Im Falle eines Kurzschlusses in einem Teilnetz wird  
der Beitrag aus dem intakten Teilnetz so niedrig gehalten,  
daß es zu keiner Überschreitung des Ausschaltvermögens kommt,  
20 wobei der Spannungseinbruch im intakten Teilnetz so kurz und  
gering wie möglich gehalten wird. Im Kurzschlußfall erfolgt  
eine Strombegrenzung des Einschaltstromstoßes auf ein gerin-  
ges Vielfaches des Nennstroms innerhalb einer ms, wobei der  
Strom schnell auf den begrenzten Strom  $I_{lim}$  absinkt und im  
25 Abschaltzeitpunkt ca. dem Nennstrom INFCL entspricht. Die  
Teilnetze werden nach kurzer Zeit in Abhängigkeit von der  
Ausschaltzeit des angesteuerten Leistungsschalters, wobei zur  
Verringerung der Ausschaltzeit die Ansteuerung mittels Span-  
nungsauslöser und Verriegelungsmagnet erfolgen kann, ge-  
30 trennt. Der Spannungseinbruch im intakten Teilnetz ist nied-  
riger und kürzer, praktisch tritt er nur im Moment des Ein-  
schaltstromstoßes auf, d.h. während einer ms. Diese kurze  
Spannungseinbruchzeit wird für elektronische Geräte als tole-  
rabel eingeschätzt und ist für rotierende Maschinen unkri-  
35 tisch.

Wenn an Quellen bzw. Einspeisungen mit den niedrigsten Impedanzen, wie z.B. Batterien, Generatoren oder Motoren, im elektrischen Netz HTSL-Strombegrenzer angeordnet sind, ist die Höhe des Kurzschlußstromes in Inselnetzen wie auf Schiffen und Offshore-Anlagen in grober Näherung eher unabhängig vom Ort des Kurzschlusses. Bei dieser Ausführung können u.U. sogar Sollschmelzstellen, wie sie beispielsweise in der Fahranlage für Unterwasserschiffe eingesetzt werden, eingespart werden, wodurch ein hohes Maß an Versorgungssicherheit erreicht wird.

Vorteilhaft kann ein HTSL-Strombegrenzer auch in Netzabzweigen angeordnet werden, die redundant aus zumindest zwei Teilnetzen gespeist werden.

Die im Zusammenhang mit der Anordnung eines HTSL-Strombegrenzers in einer Netzkupplung erzielbaren Vorteile werden auch dann erreicht, wenn ein HTSL-Strombegrenzer in einem AC-Netz in einer Teilnetze des AC-Netzes verbindenden Netzkupplung angeordnet ist. Darüber hinaus ist es vorteilhaft, wenn ein HTSL-Strombegrenzer in einem AC-Netz an einem Generator angeordnet ist, wobei er am Sternpunkt oder in der Generatorausleitung des Generators angeordnet sein kann.

Es ist möglich, einen HTSL-Strombegrenzer in einem AC-Netz an einem Transformatorm, und zwar vorteilhaft an dessen Oberspannungsseite, anzuordnen, wobei der Transformatorm seinerseits in einem Niederspannungseinspeisungsabzweig angeordnet ist. Auch kann ein HTSL-Strombegrenzer in einem AC-Netz an einem in einem Abzweig angeordneten Stromrichtertransformator angeordnet sein.

Sofern zu einem AC-Netz zwei Niederspannungsteilnetze gehören, ist es möglich, in einer Netzkupplung zwischen diesen beiden Niederspannungsteilnetzen einen HTSL-Strombegrenzer vorzusehen.

In einem DC-Netz kann ein HTSL-Strombegrenzer in einer Teilnetze des DC-Netzes verbindenden Netzkupplung angeordnet sein. Darüber hinaus kann ein HTSL-Strombegrenzer in einem DC-Netz an einem Generator, an einer Batterie und/oder an einem Motor angeordnet sein, womit die Quellen niedrigster Impedanz mit HTSL-Strombegrenzern versehen sind.

Der vorstehend geschilderte Einsatz von HTSL-Strombegrenzern erlaubt neue Wege in der Gestaltung von Bordnetzen bzw. Fahrzeugen. Neben der Verringerung der dynamischen und thermischen Beanspruchung von Geräten und Anlagen ergeben sich die Möglichkeit des Aufbaus von Netzen mit höherer Kurzschlußleistung, eine höhere Versorgungszuverlässigkeit, und die Möglichkeit zum Einsatz preiswerterer Anlagen:

Wie bereits erwähnt, kommt es insbesondere in Inselnetzen, wie Schiffsnetzen, zum Einsatz hoher Stromrichterleistungen. Die Kurzschlußleistung des Netzes wird umso höher, je niedriger die Impedanzen, hier insbesondere die Reaktanz der speisenden Generatoren sowie die Reaktanz der Transformatoren ist. Werden mehrere Maschinen parallel betrieben, verringert sich die Impedanz. Damit wird das Verhältnis von Kurzschlußleistung zu angeschlossener Stromrichterleistung im gespeisten Netz höher, das wiederum eine Verringerung der Netzrückwirkungen im gespeisten Netz bewirkt, welche durch die dort angeschlossenen Umrichterlasten verursacht werden. Weiterhin wird das Netz durch Kupplung und damit Verringerung der Netzimpedanz starrer, was eine erhebliche Verbesserung der Spannungsstatik bedeutet, wobei der Spannungsabfall proportional zur Last bzw. zur Stromstärke durch die Impedanz ist.

Die Kupplung von Teilnetzen macht die Umschaltung bei Ausfall eines Energieerzeugers eines Teilnetzes überflüssig. Bisher, d.h. beim Stand der Technik, wurde üblicherweise mit offener Kupplung gefahren. Fällt hierbei die Energieerzeugung eines Teilnetzes aus, so muß der Ausfall erkannt werden und über Verriegelungsmechanismen die Kupplung automatisch oder per

Hand eingeschaltet werden. Ist die Zeitdauer der Umschaltung zu lang, so kann es zum Abfall der motorischen Lasten unter das Kippmoment kommen, so daß ein Wiederhochlauf nicht zu stande kommt. Im Stand der Technik konnte hier bedingt eine 5 aufwendige Umschaltautomatik helfen. Im ungünstigen Fall müssen die Lasten ausgeschaltet und die gesamte Anlage neu gestartet werden. Dies ist umso unerfreulicher, je mehr es motorische Lasten wie Bugstrahlruder etc. betrifft, welche für die Manövriertfähigkeit absolut erforderlich sind.

10

Durch den Einsatz der HTSL-Strombegrenzer, insbesondere an den Quellen niedriger Impedanz, aber auch in der Netzkupplung, kann der Einsatz billigerer elektrischer Anlagen und Geräte wegen der verringerten thermischen und dynamischen Be- 15 anspruchung im Kurzschlußfall möglich sein. Insbesondere können billigere Schaltanlagen eingesetzt werden. Generatoren können mit einem höheren Verhältnis Kurzschlußstrom zu Nennstrom konstruiert werden. Transformatoren können für kürzere Kurschlußzeiten konstruiert werden, und zwar für Kurzschluß- 20 zeiten in der Größenordnung von 1ms im Vergleich zu Kurzschlußzeiten von 2s bis 5s beim Stand der Technik. Darüber hinaus können Transformatoren mit niedrigerer Kurzschlußimpedanz konstruiert werden. Damit wird eine höhere Spannungssta- bilität im Netz erreicht, z.B. bei Anlauf hoher motorischer 25 Lasten; auf Laststufenschalter kann wegen der geringen last-abhängigen Spannungsänderung bei niedrigen Impedanzen gänzlich verzichtet werden.

HTSL-Strombegrenzer können auch in Gleichspannungs- oder 30 Gleichstromzwischenkreisen, z.B. von Umrichtern und Gleichstromschaltanlagen, an Netzkupplungen, Einspeisungs- und/oder Abgangszweigen angeordnet sein.

Vorteilhaft weist ein HTSL-Strombegrenzer als Hochtemperatur- 35 supraleitungswerkstoff

$\text{Y}(\text{Yttrium})\text{Ba}(\text{Barium})\text{Cu}(\text{Kupfer})\text{O}(\text{Sauerstoff})$ -Verbindungen auf, die in Dünnfilmtechnik auf ein Substrat aufgebracht sind.

Vorzugshalber auf der dünnen Schicht aus dem Hochtemperatursupraleitungswerkstoff, welche auf dem Substrat aufgebracht ist, ist eine Shuntschicht angeordnet, die ihrerseits vorzugsweise aus Gold besteht, wobei diese Shuntschicht wesentlich dünner als die dünne Schicht aus Hochtemperatursupraleitungswerkstoff ist.

Die dünne Schicht aus Hochtemperatursupraleitungswerkstoff ist so bemessen, daß der Durchlaßstromwert ID des HTSL-Strombegrenzers ca. das 3fache des Nennstroms INFCL entspricht.

Um einen störungsfreien Betrieb des HTSL-Strombegrenzers auch bei geräuschloser Fahrt, insbesondere bei einem Unterwasserschiff, zu ermöglichen, ist ein Kryostat des HTSL-Strombegrenzers mit einem zusätzlichen Kältemittelreservoir ausgerüstet, wobei dieses zusätzliche Kältemittelreservoir im Kryostat selbst berücksichtigt oder als über Verbindungsleitungen an den Kryostat angeschlossener externer Ausgleichsbehälter ausgebildet sein kann.

Im folgenden wird die Erfindung anhand von Ausführungsformen unter Bezugnahme auf die Zeichnungen näher erläutert.

Es zeigen:

FIGUR 1 eine Übersichtsdarstellung eines in einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Sofortabschaltung eingesetzten HTSL-Strombegrenzers;

FIGUR 2 eine diagrammatische Prinzipdarstellung des Funktionsablaufs eines HTSL-Strombegrenzers;

#### FIGUREN

3 bis 6 unterschiedlich gestaltete DC-Netze mit einem oder mehreren HTSL-Strombegrenzern; und

FIGUR 7 eine Prinzipdarstellung eines AC-Netzes mit HTSL-Strombegrenzern an verschiedenen möglichen Einbauorten.

Zu einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Sofortabschaltung bei Kurzschlägen in elektrischen DC- 1 und AC-Netzen 2 von Über- und Unterwasserschiffen, insbesondere Kampfschiffen und Kreuzfahrtschiffen, und Offshore-Anlagen gehören HTSL-Strombegrenzer 3, deren grundsätzlicher Aufbau und deren grundsätzliche Funktionsweise anhand der FIGUREN 1 und 2 im folgenden näher erläutert wird.

Im Zusammenhang mit FIGUR 1 sei darauf hingewiesen, daß mit dem dort gezeigten HTSL-Strombegrenzer 3 ein Leistungsschalter in Reihe geschaltet ist, der in FIGUR 1 nicht dargestellt ist. Bei dem mit dem HTSL-Strombegrenzer 3 in Reihe geschalteten Leistungsschalter kann es sich um den Leistungsschalter eines bestehenden DC- 1 bzw. AC-Netzes 2 oder um einen neuen Leistungsschalter oder Lastschalter eines neu zu konzipierenden DC- 1 bzw. AC-Netzes 2 handeln.

Der in FIGUR 1 gezeigte HTSL-Strombegrenzer 3 ist samt seiner Zusatzeinrichtungen in das DC- 1 bzw. AC-Netz 2 integrationsfähig ausgestaltet und hat einen Kryostaten 4, bei dem es sich im dargestellten Ausführungsbeispiel um einen a-magnetischen Edelstahlbehälter in doppelwandiger Ausführung mit Vakuumisolation handelt. Im Kryostaten 4 sind die eigentlichen Funktionselemente des HTSL-Strombegrenzers 3 in flüssigem Stickstoff bei einer Temperatur von ca. 77K aufgenommen. Es sind abweichende Temperaturen möglich, wenn andere Drücke eingestellt werden, z.B. durch Abpumpen eine Temperatur von 67K. Der HTSL-Strombegrenzer 3 wird über Stromdurchführungen 5, 6 an eine auf Raumtemperatur befindliche Sammelschiene angebunden.

Zur Rekondensation des im Kryostaten 4 vorhandenen verdampften flüssigen und nunmehr gasförmigen Stickstoffs wird ein Refrigerator 7, im wesentlichen bestehend aus einem Heliumverdichter 10 und einem Kaltkopf 9 mit einem Kondensator 52, eingesetzt. Hierdurch handelt es sich um einen geschlossenen Kühlkreislauf innerhalb des Kryostaten 4; entsprechend ist es

nicht erforderlich, im Normalbetrieb Kältemittel in Form von flüssigem Stickstoff (LN2) nachzufüllen.

Der Heliumverdichter 10 versorgt den Kaltkopf 9 durch Vor-  
5 und Rücklaufdruckleitungen 11, 12 eines Kreislaufs 8 mit flüssigem Helium. Innerhalb des Kryostaten 4 wird verdampfter Stickstoff am Kondensator 52 des Kaltkopfes 9, der in den Kryostaten 4 hineinragt, rekondensiert. Die Kühlung des Heli-  
umverdichters 10 erfolgt mittels einer Kühlwasserzu- 13 und  
10 einer Kühlwasserableitung 14, wobei das Kühlwasser beispiels-  
weise von einem Zwischenkühlsystem eines Schiffes zur Verfü-  
gung gestellt werden kann.

Um den Kühl- bzw. Kältemittelbedarf im Kryostaten 4 z.B. bei  
15 einer geräuschlosen Fahrt eines Unterseebootes realisieren zu können, ist für die Überbrückung des Kühl- bzw. Kältemittel-  
bedarfs während dieses Zeitraums ein zusätzliches geeignetes Kältemittelreservoir vorgesehen, welches entweder im Kryosta-  
ten 4 bereits berücksichtigt ist oder als externer Aus-  
20 gleichsbehälter über Verbindungsleitungen mit dem Kryostaten 4 verbunden ist.

Alternativ zu dem Refrigerator 7 mit dem Kreislauf 8, dem Kaltkopf 9 und dem Heliumverdichter 10 kann eine offene Nach-  
25 fülllösung gewählt werden. Des weiteren können anstelle flüs-  
sigen Stickstoffes andere Kühl- bzw. Kältemittel eingesetzt werden. Flüssiger Stickstoff hat jedoch hervorragende elekt-  
rische Eigenschaften, ist vergleichsweise preiswert und hat günstige Brandschutzeigenschaften.

30 Zum HTSL-Strombegrenzer 3 gehört eine Sensorik 15, deren Sen-  
soren innerhalb des Kryostaten 4 angeordnet sind. Mittels der Sensorik 15 wird der Betriebszustand des Aktivteils des HTSL-  
Strombegrenzers 3 überwacht. Die Sensorik 15 ist an geeignete  
35 Auswertegeräte 16 angeschlossen, mittels denen Analog- und Binärsignale z.B. an einen Auslöser des Leistungsschalters im

Strombegrenzerpfad und an eine zentrale Melde- und Steuerzentrale übergebbar sind.

Darüber hinaus ist es auch möglich, entsprechende Signale vom  
5 Refrigerator 7 zu generieren und zur Signalisierung an die  
Melde- und Steuerzentrale zu übergeben.

Zum elektrischen Aufbau des HTSL-Strombegrenzers 3 gehören  
die Stromzuführungen 5, 6, HTSL-Strombegrenzermodule 17, 18  
10 sowie deren Verschaltungselemente.

Eine wichtige Eigenschaft des vorstehend geschilderten HTSL-Strombegrenzers 3 ist es, daß er bei betrieblichen Strömen und Überströmen nicht auslöst. Da der HTSL-Strombegrenzer 3  
15 als Primärauslöser wirkt, muß seine Dimensionierung auf die entsprechenden Erfordernisse unter Berücksichtigung der Selektivität ausgelegt sein.

Falls der HTSL-Strombegrenzer 3 versagt, ist die Eigensicherheit des HTSL-Strombegrenzers 3 zu gewährleisten. Die Auslösung muß daher so erfolgen, daß eine innere Zerstörung, ausgelöst durch äußere mechanische Einwirkung oder inneren Defekt, zur Löschung eines evtl. auftretenden Lichtbogens und  
20 zur Trennung des Stromkreises führt.

25 Die Funktionsweise des in FIGUR 1 dargestellten HTSL-Strombegrenzers 3 wird im folgenden anhand von FIGUR 2 erläutert. Überschreitet der Strombegrenzerstrom seinen kritischen Wert, so befindet sich der Supraleiter des HTSL-Strombegrenzers 3  
30 zunächst im sog. Flux-Flow-Bereich. Der kritische Wert des Strombegrenzerstroms ist der Wert, bei dem der Spannungsabfall über dem Supraleiter des HTSL-Strombegrenzers 3 kleiner als  $1\mu V$  je cm Länge des Supraleiters beträgt. Der normalleitende Bereich des Supraleiters wird gemäß seiner Spannungs-Strom-Kennlinie erreicht, wenn der Spannungsabfall über dem Supraleiter sehr viel größer als  $1\mu V$  je cm Länge des Supraleiters ist. Der Supraleiter wird erst dann wieder supralei-

tend, wenn die kritische Temperatur und der kritische Strom unterschritten werden, was nur dann möglich ist, wenn der Stromkreis, in dem sich der HTSL-Strombegrenzer 3 befindet, unterbrochen wird, so daß keine weitere Aufheizung mehr erfolgt und das die Funktionselemente des HTSL-Strombegrenzers 3 im Kryostat 4 umgebende Stickstoffbad mit z.B. 77K rückkühlen kann.

Im Bereich zwischen dem Spannungsabfall von  $1\mu\text{V}/\text{cm}$  und dem 10 normalleitenden Zustand des Supraleiters muß es nicht zur Auslösung des HTSL-Strombegrenzers kommen, solange seine Kennlinie nicht verlassen ist. Wegen des Spannungsabfalls wird Energie in das im Kryostaten 4 befindliche Stickstoffbad dissipiert. Dieser Zustand kann solange aufrecht erhalten 15 werden, wie das thermische Gleichgewicht zwischen der im Stickstoffbad als dissipierte Energie auftretenden zugeführten Stromwärme und der durch den Stickstoff abführbaren Wärme besteht. Die Auslösekennlinie des Supraleiters kann mittels einer Strom-Zeit-Kennlinie ausgedrückt werden, wie sie von 20 Sicherungen her bekannt ist. Diese Strom-Zeit-Kennlinie ist abhängig vom Werkstoff des Supraleiters. Im Vergleich zu denjenigen von Sicherungen haben in Dünnfilmausführung ausgebildete HTSL-Strombegrenzer 3 eine super schnelle Strom-Zeit-Kennlinie. Der besondere Vorteil von HTSL-Strombegrenzern 3 25 dabei ist, daß der Durchlaßwert ID, wie in FIGUR 2 gezeigt, physikalisch bedingt ca. auf das maximal 3fache des kritischen Stromes bzw. Nennstromes begrenzt werden kann, unabhängig von der Höhe des unbeeinflußten Kurzschlußstromes.

Nach einem Begrenzungsvorgang mit Öffnen des Leistungsschalters kühlt der Supraleiter des HTSL-Strombegrenzers 3 während 30 seiner Rückkühlzeit zurück und ist innerhalb kurzer Zeit wieder einsatzbereit. Diese Rückkühlzeit hängt u.a. von der Temperatur des Supraleiters im Abschaltemoment ab und dauert erfahrungsgemäß 1 bis 2 Sekunden. Bei Versagen des Leistungsschalters fließt der Strom weiter durch den Supraleiter des HTSL-Strombegrenzers 3 und heizt diesen so stark auf, daß 35

sein Temperaturlimit erreicht wird, wodurch der Supraleiter mit seinem Substrat durch thermomechanische Spannungen zerstört werden kann. Der Stromkreis wird somit auch bei Versagen des Leistungsschalters unterbrochen. Der HTSL-Strombegrenzer 3 verfügt daher über das Merkmal der Eigensicherheit.

5 Die in FIGUR 2 gezeigte Charakteristik des HTSL-Strombegrenzers 3, nämlich den unbeeinflußten Kurzschlußstrom auf ca. maximal das 3fache im Durchlaßwert  $I_D$  zu begrenzen, wird erreicht, wenn der HTSL-Strombegrenzer 3 einen Hochtemperatur-

10 supraleiter aus einem Hochtemperatursupraleitungswerkstoff aus  $\text{Y}(\text{Yttrium})\text{Ba}(\text{Barium})\text{Cu}(\text{Kupfer})\text{O}(\text{Sauerstoff})$ -Verbindungen aufweist und in Dünnfilmtechnik ausgeführt ist.

15 Die Höhe des unbeeinflußten Kurzschlußstromes bzw. der Stromanstieg je Zeiteinheit  $di/dt$  hat nahezu keinen Einfluß auf die Höhe des Durchlaßwerts  $I_D$ ; hierdurch unterscheidet sich der HTSL-Strombegrenzer 3 von Halbleiterschaltern, bei denen nur eine zulässige Ladungsträgerdichte gemäß Datenblatt erlaubt ist.

20

25 Eine nahezu rückwirkungsfreie Trennung von Teilanlagen von DC- 1 und AC-Netzen 2 ist durch den vorstehend geschilderten HTSL-Strombegrenzer 3 erreichbar, der mit einer Ansprechzeit von maximal 1ms resistiv begrenzt. Die anschließende Abtrennung der Teilanlagen erfolgt durch den in FIGUR 1 nicht gezeigten, in Reihe zum HTSL-Strombegrenzer 3 angeordneten Leistungsschalter, welcher, wenn er in Kombination mit dem HTSL-Strombegrenzer 3 eingesetzt wird, konstruktiv auf kurze

30 Ausschaltzeiten optimiert werden kann und nicht – wie bisher – auf hohe dynamische Kurzschlußfestigkeit.

35 Wie vorstehend bereits erläutert, wirkt der HTSL-Strombegrenzer 3 selbsttätig als Primärauslöser und benötigt daher kein externes Signal, beispielsweise von einem Schutzgerät, welches bei konventionellen Anlagen ohne HTSL-Strombegrenzer 3

einem Auslöser des Leistungsschalters ein Kommando übermittelt.

Der HTSL-Strombegrenzer 3 erholt sich nach seiner Trennung

5 vom DC- 1 bzw. AC-Netz 2 selbstständig und ist nach einer Rückkühlzeit von maximal 1 bis 2 Sekunden wieder einsatzbereit.

Ein Auswechseln wie bei einer Sicherung oder einer Soll-schmelzstelle entfällt.

10 Durchlaßverluste wie bei Halbleitern entstehen nicht. Der HTSL-Strombegrenzer 3 selbst ist supraleitend, so daß im Normalbetrieb des DC- 1 bzw. AC-Netzes 2 kein Spannungsabfall entsteht.

15 Die Anforderungen an die Dimensionierung des bzw. der HTSL-Strombegrenzer 3 werden durch die Bedingungen am Einsatzort bestimmt, wie auftretende Netzspannung, Nennströme, betrieblich und nicht betriebliche Vorgänge, wie Überströme, Selektivitätskriterien aus Sicht des elektrischen Schutzes und 20 Auswahl des zum HTSL-Strombegrenzer 3 in Reihe befindlichen Leistungsschalters.

Der vorstehend geschilderte HTSL-Strombegrenzer 3 kommt in Vorrichtungen zur Sofortabschaltung zum Einsatz, die in DC-Netzen auf Über- und Unterwasserschiffen, in AC-Netzen 2 auf Über- und Unterwasserschiffen und in AC- und DC-Netzen 2, 1 auf Offshore-Anlagen integriert werden.

Derartige HTSL-Strombegrenzer 3 können bei der Ertüchtigung,

30 Modernisierung bzw. Grundüberholung derartiger Netze integriert werden, z.B. wenn Batterien mit größerer Kapazität die bisher vorhandenen Batterien ersetzen sollen. Der Einsatz der HTSL-Strombegrenzer 3 sowohl in AC- 2 als auch in DC-Netzen 1 ist in Kombination mit den bereits bestehenden Schalt- und 35 Schutzorganen möglich. In neu zu konzipierenden DC- 1 bzw. AC-Netzen 2 können sämtliche Designvorteile, die sich auf-

grund des Einsatzes von HTSL-Strombegrenzern 3 ergeben, auf die Gesamtanlage übertragen werden.

Bei einem in FIGUR 3 gezeigten DC-Netz 1 eines Unterwasserschiffes ist ein Haupt-Teilnetz 19 und ein Generator-Teilnetz 20 vorgesehen. Zum Haupt-Teilnetz 19 gehören Batterien 21, Motoren 22 sowie ein Ladeanschluß 23. Zum Generator-Teilnetz 20 gehören Generatoren 24. Die einzelnen Elemente sowohl des Haupt-Teilnetzes 19 als auch des Generator-Teilnetzes 20 sind mittels Sollschmelzstellen 25 und Leistungsschaltern 26 gesichert.

Zwischen dem Haupt-Teilnetz 19 und dem Generator-Teilnetz 20 ist eine Netzkupplung 27 vorgesehen, in der ein HTSL-Strombegrenzer 3 sitzt.

Die in FIGUR 4 gezeigte Ausführungsform eines DC-Netzes 1 eines Unterwasserschiffes unterscheidet sich von der vorstehend näher beschriebenen dadurch, daß das DC-Netz 1 ein erstes Teilnetz 28 und ein zweites Teilnetz 29 aufweist, die über die Netzkupplung 27 miteinander verbunden sind. Die beiden Teilnetze 28, 29 haben jeweils Batterien 21, einen Motor 22 und Generatoren 24, wobei im zweiten Teilnetz 29 der Ladeanschluß 23 vorgesehen ist. In der Netzkupplung 27 ist ein HTSL-Strombegrenzer 3 vorgesehen.

Eine in FIGUR 5 gezeigte Ausführungsform des DC-Netzes 1 für Unterwasserschiffe hat ein erstes Bordnetz 30 und ein zweites Bordnetz 31. In beiden Bordnetzen 30, 31 ist der Motor 22, eine Batterie 21 und sind Dioden 32 vorgesehen. Im ersten Bordnetz 30 ist des weiteren eine Brennstoffzellenanlage 33, im zweiten Bordnetz 31 ein Generator 24 sowie ein Ladeanschluß 23 vorgesehen. Außer in der Netzkupplung 27 über den Motor 22 ist in einer die beiden Bordnetze 30, 31 verbindenden weiteren Netzkupplung 34 ein weiterer HTSL-Strombegrenzer 3 vorgesehen.

Bei der in FIGUR 6 gezeigten Ausführungsform eines DC-Netzes 1 für Unterwasserschiffe erfolgt der Anschluß zweier Brennstoffzellenanlagen 33 über einen DC/DC-Steller 35. Hierbei sind den Quellen niedriger Impedanz, wie den Generatoren 24 5 und Batterien 21 HTSL-Strombegrenzer 3 zugeordnet.

Durch den Einsatz der HTSL-Strombegrenzer 3 in den DC-Netzen von Unterwasserschiffen, und zwar in deren Netzkupplungen 27, wird der Beitrag des vom HTSL-Strombegrenzer 3 jeweils abge- 10 wandten Teilnetzes im Durchlaßwert reduziert und auf bei- spielsweise ca. 15kA für 1ms und anschließend ca. 5kA für 29ms reduziert. Am Kurzschlußort wird nunmehr erheblich weniger Energie umgesetzt. Ein herausragender Vorteil des Einsatzes von HTSL-Strombegrenzern 3 besteht darin, daß das intakte 15 Teilnetz nahezu unbeeinflußt bleibt, da der Beitrag zum Kurzschlußstrom an der Fehlerstelle sofort auf ca. den Wert des Nennstroms oder je nach Auslegung des HTSL-Strombegren- zers 3 darüber oder darunter reduziert wird. Das Unterwasser- schiff bleibt somit manövriertfähig.

Bei allen DC-Netzen 1, in denen HTSL-Strombegrenzer 3 eingesetzt werden, kommt es im Vergleich zum Stand der Technik zu einer erheblichen Verkleinerung der Summenströme, zu verrin- 25 gerten Einzelgerätebelastungen und damit zu geringeren dyna- mischen und thermischen Kurzschlußbelastungen. Hierdurch er- gibt sich ein wesentlich verringelter Wartungsaufwand.

Darüber hinaus werden durch den Einsatz von HTSL-Strombegren- zern 3 in DC-Netzen 1 Gewichts- und Volumeneinsparungen er- 30 reicht, der Wegfall einiger oder aller Sollschnellstellen, die Verkleinerung der Lichtbogenausblasräume der Leistungs- schalter 26, wobei darüber hinaus der Einsatz einfacherer und leichterer Leistungsschalter 26 möglich ist.

35 Das in FIGUR 7 in unterschiedlichen Varianten prinzipiell dargestellte AC-Netz 2 zeigt eine HTSL-Strombegrenzereinheit 3, die an einem Mittelspannungsgenerator 36 angeordnet ist,

der eine Quelle niedriger Impedanz bildet. Am Mittelspannungsgenerator 36 ist die HTSL-Strombegrenzereinheit 3 am Sternpunkt 37 angeordnet. Der Sternpunkt 37 des Mittelspannungsgenerators 36 eignet sich in besonderer Weise zur Anordnung der HTSL-Strombegrenzereinheit 3, da er meist in einem separaten Sternpunktkasten herausgeführt ist, wo sich weitere Geräte anschließen lassen. Entsprechend ist insbesondere der nachträgliche Einbau einer HTSL-Strombegrenzereinheit 3 platzmäßig flexibler handhabbar.

10

An einem Mittelspannungsgenerator 38, der ebenfalls eine Quelle niedriger Impedanz bildet, ist eine HTSL-Strombegrenzereinheit 3 vorgesehen, wobei sich im Falle des Mittelspannungsgenerators 38 die HTSL-Strombegrenzereinheit 3 in der 15 Generatorausleitung 39 befindet.

20

Des weiteren ist es möglich, eine HTSL-Strombegrenzereinheit 3 in einer Netzkupplung 40 anzuordnen, mittels der die beiden Teilnetze 41, 42 verbunden bzw. verbindbar sind. Der Einbau der HTSL-Strombegrenzereinheit 3 in der Netzkupplung 40 ist sowohl im Falle eines Neubaus als auch im Falle einer Nachrüstung gut geeignet, da die Schaltanlagen meist räumlich voneinander getrennt sind.

25

In zwei Niederspannungseinspeisungsabzweigen 43, 44, von denen einer dem Teilnetz 41 und der andere dem Teilnetz 42 unmittelbar zugeordnet ist, ist jeweils ein Transformator 45 bzw. 46 angeordnet, die jeweils oberspannungsseits mit einer HTSL-Strombegrenzereinheit 3 versehen sind. Durch den ober- 30 spannungsseitigen Einbau der HTSL-Strombegrenzereinheit 3 wird bei einem Klemmenkurzschluß der Transformator 45 bzw. 46 unterspannungsseitig ebenfalls geschützt. Grundsätzlich ist es alternativ möglich, die HTSL-Strombegrenzereinheit 3 niederspannungsseitig des Transformatoren 45 bzw. 46 einzubauen; dies ist jedoch nachteilig für die für größere Ströme zu dimensionierenden Stromzuführungen, wodurch aufgrund höherer

Verluste eine Vergrößerung des Refrigerators 7 der jeweiligen HTSL-Strombegrenzereinheit 3 erforderlich wäre.

Ein in einem Abzweig 47 angeordneten Stromrichtertransformator 48, mittels dem beispielsweise ein Hauptantrieb versorgt werden kann, ist ebenfalls eine HTSL-Strombegrenzereinheit 3 zugeordnet. Umrichterventile können damit für kleinere Kurzschlußströme dimensioniert werden. Der Einsatz kleinerer und konstruktiv-technisch weniger aufwendiger Bauelemente ist möglich, die zudem mit weniger Sicherheit dimensioniert werden müssen und dadurch höher ausnutzbar sind.

Darüber hinaus kann eine HTSL-Strombegrenzereinheit 3 in einer weiteren Netzkupplung 49 vorgesehen sein, wobei diese 15 Netzkupplung 49 die beiden Niederspannungsanlagen bzw. -Teilnetze 50, 51 verbindet.

Es sei darauf hingewiesen, daß jeder Phase jeder HTSL-Strombegrenzereinheit 3, wie sie in FIGUR 7 dargestellt sind, 20 mindestens ein Leistungsschalter 26 in Reihenanordnung zugeordnet ist.

## Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Sofortabschaltung bei Kurzschlägen in elektrischen DC- und AC-Netzen (1, 2) von Über- und Unterwasserschiffen, insbesondere Kampfschiffen, und Offshore-Anlagen, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorrichtung zur Sofortabschaltung zumindest einen Hochtemperatur-Supraleitungs (HTSL)-Strombegrenzer (3) aufweist.
- 10 2. Vorrichtung zur Sofortabschaltung nach Anspruch 1, die im DC-Netz (1) bzw. AC-Netz (2) in Kombination mit bisher im DC-Netz (1) bzw. AC-Netz (2) eingesetzten Schalt- und Schutzorganen, z.B. Sollschmelzstellen (25), Leistungsschaltern (26) u.d.gl., eingesetzt ist.
- 15 3. Vorrichtung zur Sofortabschaltung nach Anspruch 1 oder 2, bei der der HTSL-Strombegrenzer (3) in Reihe mit einem Leistungsschalter (26) oder ggf. Lasttrennschalter angeordnet ist.
- 20 4. Vorrichtung zur Sofortabschaltung nach Anspruch 3, bei der der in Reihe mit dem HTSL-Strombegrenzer (3) angeordnete Leistungsschalter (26) konstruktiv optimiert auf kurze Ausschaltzeiten ausgelegt ist.
- 25 5. Vorrichtung zur Sofortabschaltung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei der ein HTSL-Strombegrenzer (3) in einer Teilnetze (19, 20; 28, 29; 30, 31; 41, 42; 50, 51) des elektrischen Netzes (1, 2) verbindenden Netzkupplung (27, 34, 40, 49) angeordnet ist.
- 30 6. Vorrichtung zur Sofortabschaltung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, bei der HTSL-Strombegrenzer (3) an Quellen bzw. Einspeisungen mit den niedrigsten Impedanzen, wie z.B. Batterien (21), Generatoren (24; 36, 38)

oder Motoren (22) im elektrischen Netz (1, 2) angeordnet sind.

7. Vorrichtung zur Sofortabschaltung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, bei der HTSL-Strombegrenzer (3) in redundant aus zumindest zwei Teilnetzen gespeisten Netzabzweigen angeordnet sind.
- 10 8. Vorrichtung zur Sofortabschaltung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, bei der ein HTSL-Strombegrenzer (3) in einem AC-Netz (2) in einer Teilnetze (41, 42) des AC-Netzes (2) verbindenden Netzkupplung (40) angeordnet ist.
- 15 9. Vorrichtung zur Sofortabschaltung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, bei der ein HTSL-Strombegrenzer (3) in einem AC-Netz (2) an einem Generator (37, 38) angeordnet ist.
- 20 10. Vorrichtung zur Sofortabschaltung nach Anspruch 9, bei der der HTSL-Strombegrenzer (3) am Sternpunkt (37) des Generators (36) angeordnet ist.
- 25 11. Vorrichtung zur Sofortabschaltung nach Anspruch 9, bei der der HTSL-Strombegrenzer (3) in der Generatorausleitung (39) des Generators (38) angeordnet ist.
- 30 12. Vorrichtung zur Sofortabschaltung nach einem der Ansprüche 1 bis 11, bei der ein HTSL-Strombegrenzer (3) in einem AC-Netz (2) an einem in einem Niederspannungseinspeisungsabzweig (43, 44) angeordneten Transistor (45, 46) angeordnet ist.
- 35 13. Vorrichtung zur Sofortabschaltung nach Anspruch 12, bei der der HTSL-Strombegrenzer (3) an der Oberspannungsseite des im Niederspannungseinspeisungsabzweig (43,

44) angeordneten Transformators (45, 46) angeordnet ist.

14. Vorrichtung zur Sofortabschaltung nach einem der Ansprüche 1 bis 13, bei der ein HTSL-Strombegrenzer (3) in einem AC-Netz (2) an einem in einem Abzweig (47) angeordneten Stromrichtertransformator (48) angeordnet ist.

10 15. Vorrichtung zur Sofortabschaltung nach einem der Ansprüche 1 bis 14, bei der ein HTSL-Strombegrenzer (3) in einem AC-Netz (2) in einer Netzkupplung (49) zwischen zwei Niederspannungsteilnetzen (50, 51) angeordnet ist.

15 16. Vorrichtung zur Sofortabschaltung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, bei der ein HTSL-Strombegrenzer (3) in einem DC-Netz (1) in einer Teilnetze (19, 20; 28, 29; 30, 31) des DC-Netzes (1) verbindenden Netzkupplung (37, 34) angeordnet ist.

20 17. Vorrichtung zur Sofortabschaltung nach einem der Ansprüche 1 bis 7 und 16, bei der ein HTSL-Strombegrenzer (3) in einem DC-Netz (1) an einem Generator (24) angeordnet ist.

25 18. Vorrichtung zur Sofortabschaltung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, 16 und 17, bei der ein HTSL-Strombegrenzer (3) in einem DC-Netz (1) an einer Batterie (21) angeordnet ist.

30 19. Vorrichtung zur Sofortabschaltung nach einem der Ansprüche 1 bis 7 und 16 bis 18, bei der ein HTSL-Strombegrenzer (3) in einem DC-Netz (1) an einem Motor (22) angeordnet ist.

20. Vorrichtung zur Sofortabschaltung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, bei der HTSL-Strombegrenzer (3) in Gleichspannungs- oder Gleichstromzwischenkreisen, z.B. von Umrichtern und Gleichstromschaltanlagen, an Netz-  
kupplungen, Einspeisungs- und/oder Abgangszweigen angeordnet sind.
- 10 21. Vorrichtung zur Sofortabschaltung nach einem der Ansprüche 1 bis 20, deren HTSL-Strombegrenzer (3) als Hochtemperatursupraleitungswerkstoff aus Y(Yttrium)Ba(Barium)Cu(Kupfer)O(Sauerstoff)-Verbindungen besteht, die in Dünnschichttechnik auf ein Substrat aufgebracht sind.
- 15 22. Vorrichtung zur Sofortabschaltung nach Anspruch 21, bei deren HTSL-Strombegrenzer (3) zusätzlich zur dünnen Schicht aus Hochtemperatursupraleitungswerkstoff auf dem Substrat eine Shuntschicht, vorzugsweise aus Gold, angeordnet ist, die wesentlich dünner als die dünne Schicht aus Hochtemperatursupraleitungswerkstoff ist.
- 20 23. Vorrichtung zur Sofortabschaltung nach Anspruch 21 oder 22, bei deren HTSL-Strombegrenzer (3) die dünne Schicht aus Hochtemperatursupraleitungswerkstoff so bemessen ist, daß der Durchlaßstromwert ID des HTSL-Strombegrenzers (3) ca. dem 3fachen des Nennstroms INFCL entspricht.
- 25 24. Vorrichtung zur Sofortabschaltung nach einem der Ansprüche 1 bis 23, bei dem ein Kryostat (4) des HTSL-Strombegrenzers (3) mit einem zusätzlichen Kältemittelreservoir ausgerüstet ist.
- 30 25. Vorrichtung zur Sofortabschaltung nach Anspruch 24, bei dem das zusätzliche Kältemittelreservoir im Kryostat (4) selbst berücksichtigt ist.

26. Vorrichtung zur Sofortabschaltung nach Anspruch 24, bei dem das zusätzliche Kältemittelreservoir als über Verbindungsleitungen an den Kryostat (4) angeschlossener externer Ausgleichsbehälter ausgebildet ist.

1/7

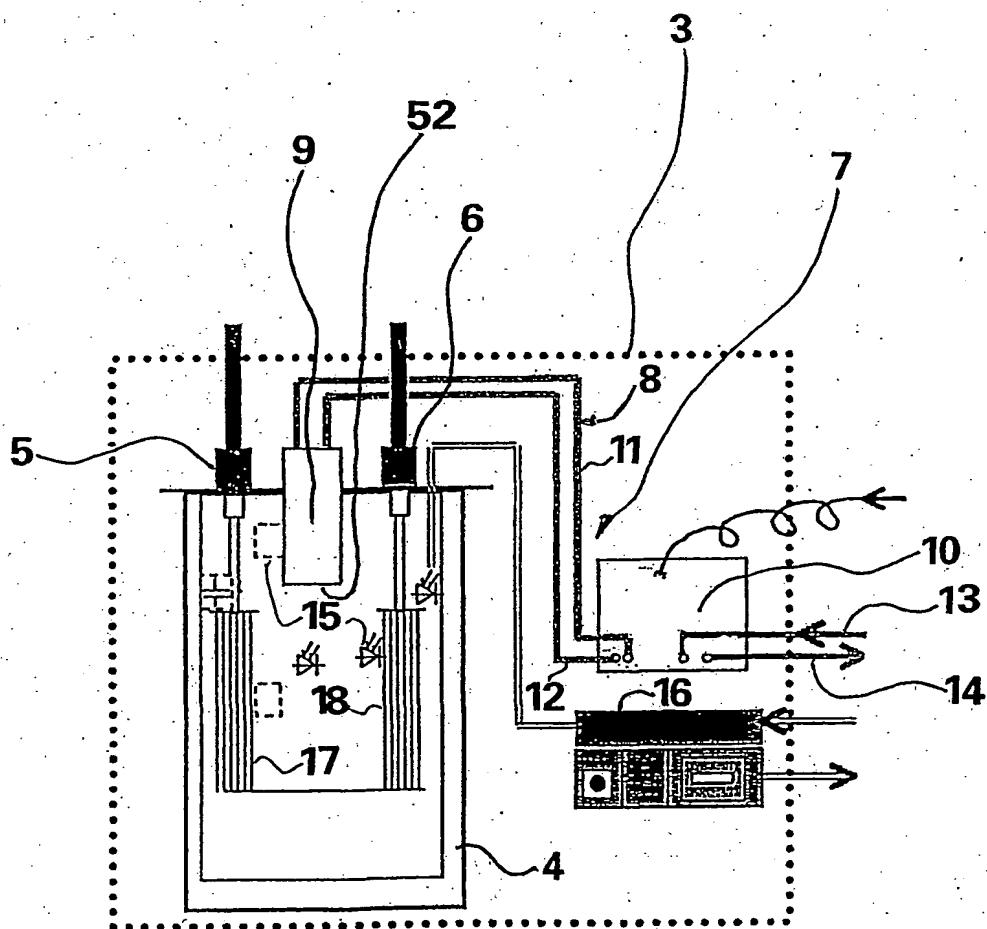


FIG 1

2/7

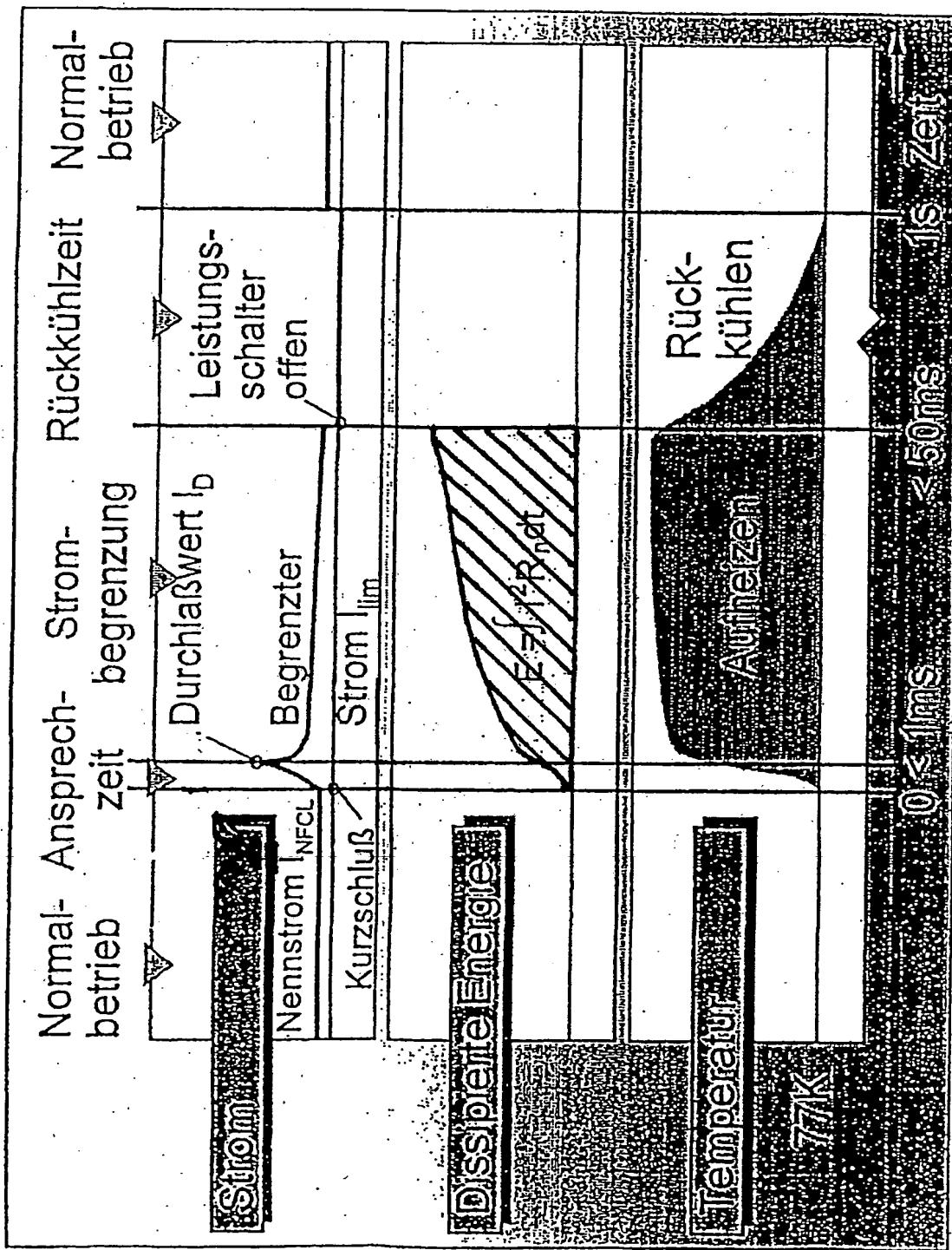


FIG 2

3/7

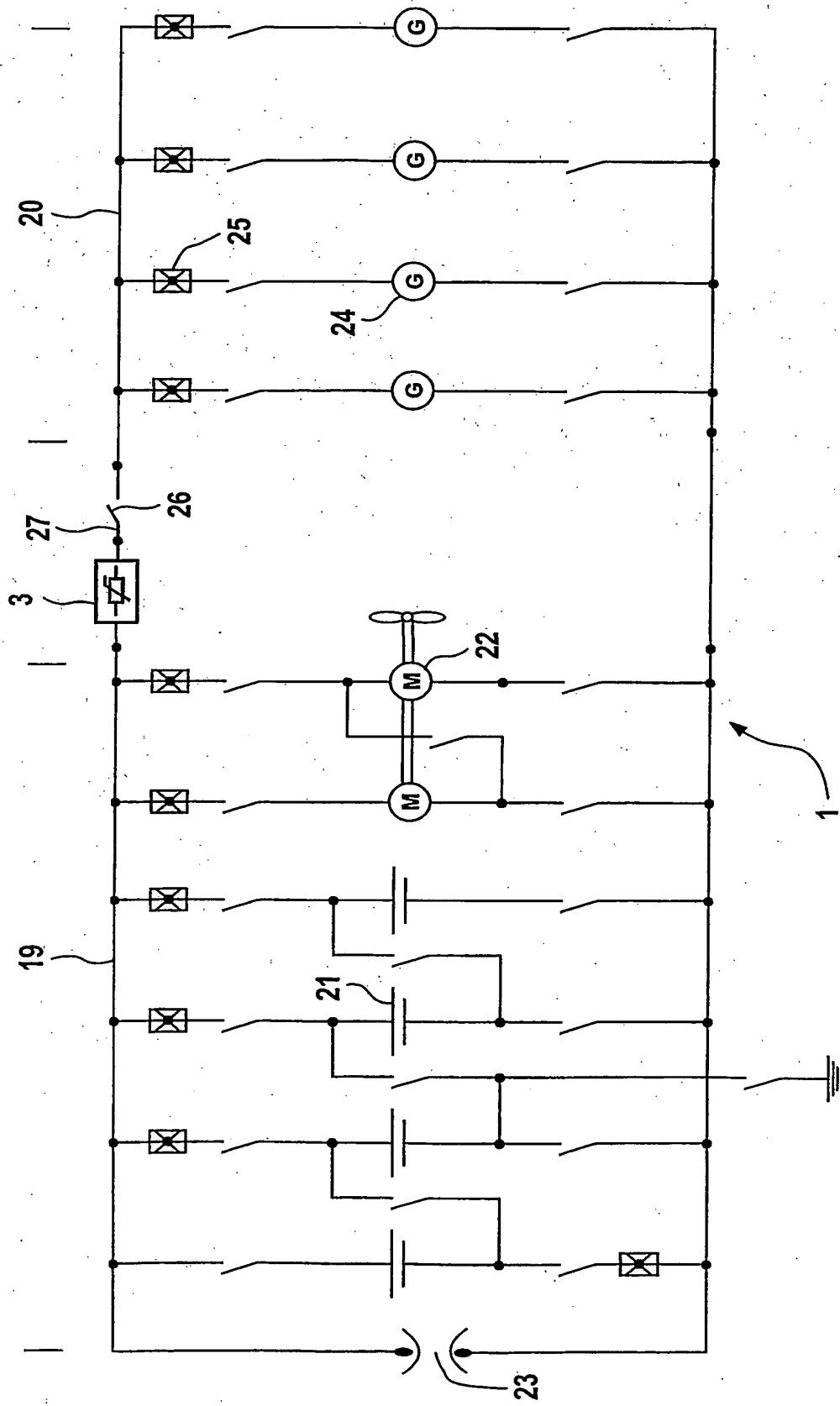


FIG 3

4/7

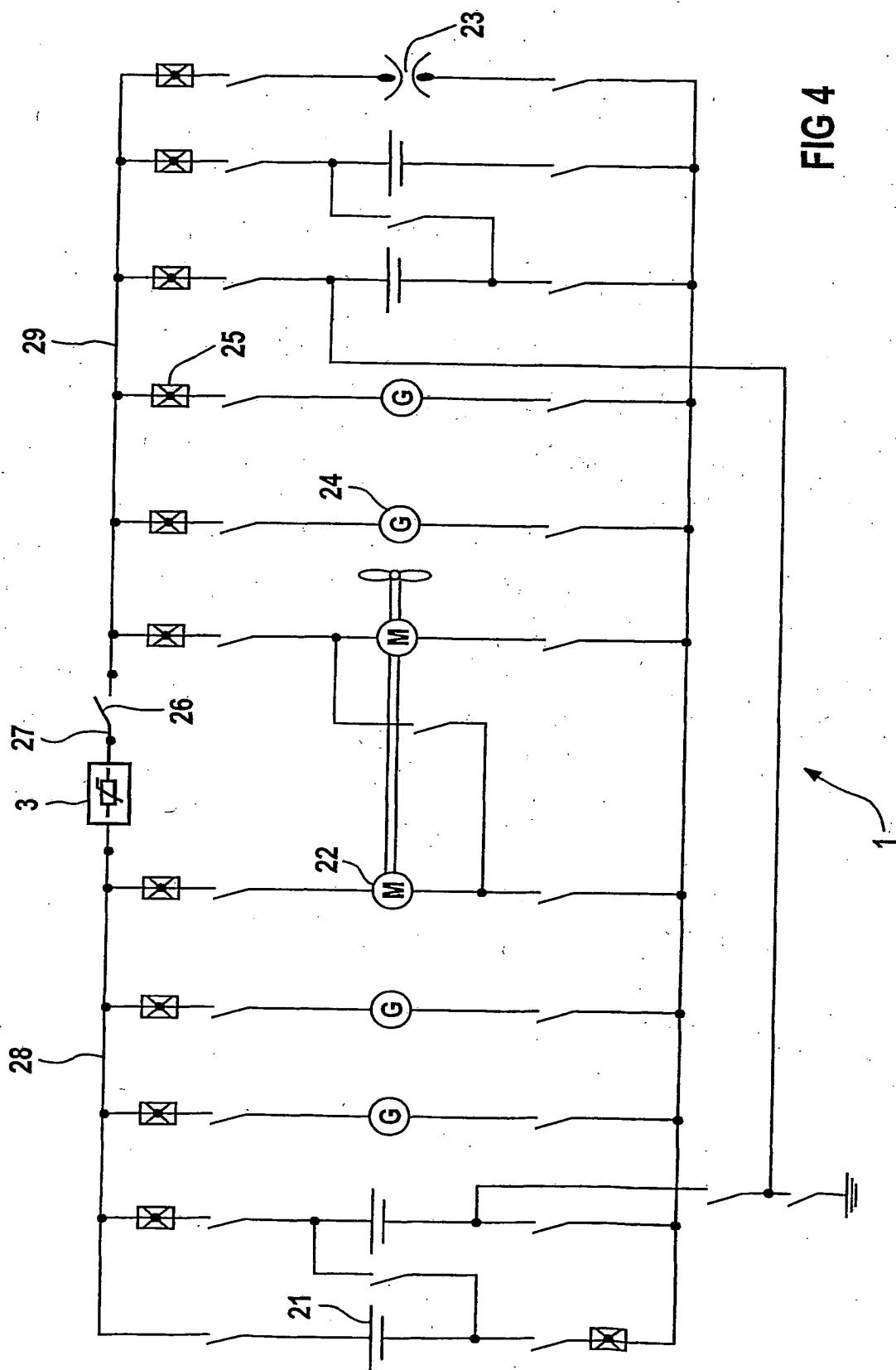


FIG 4

5/7

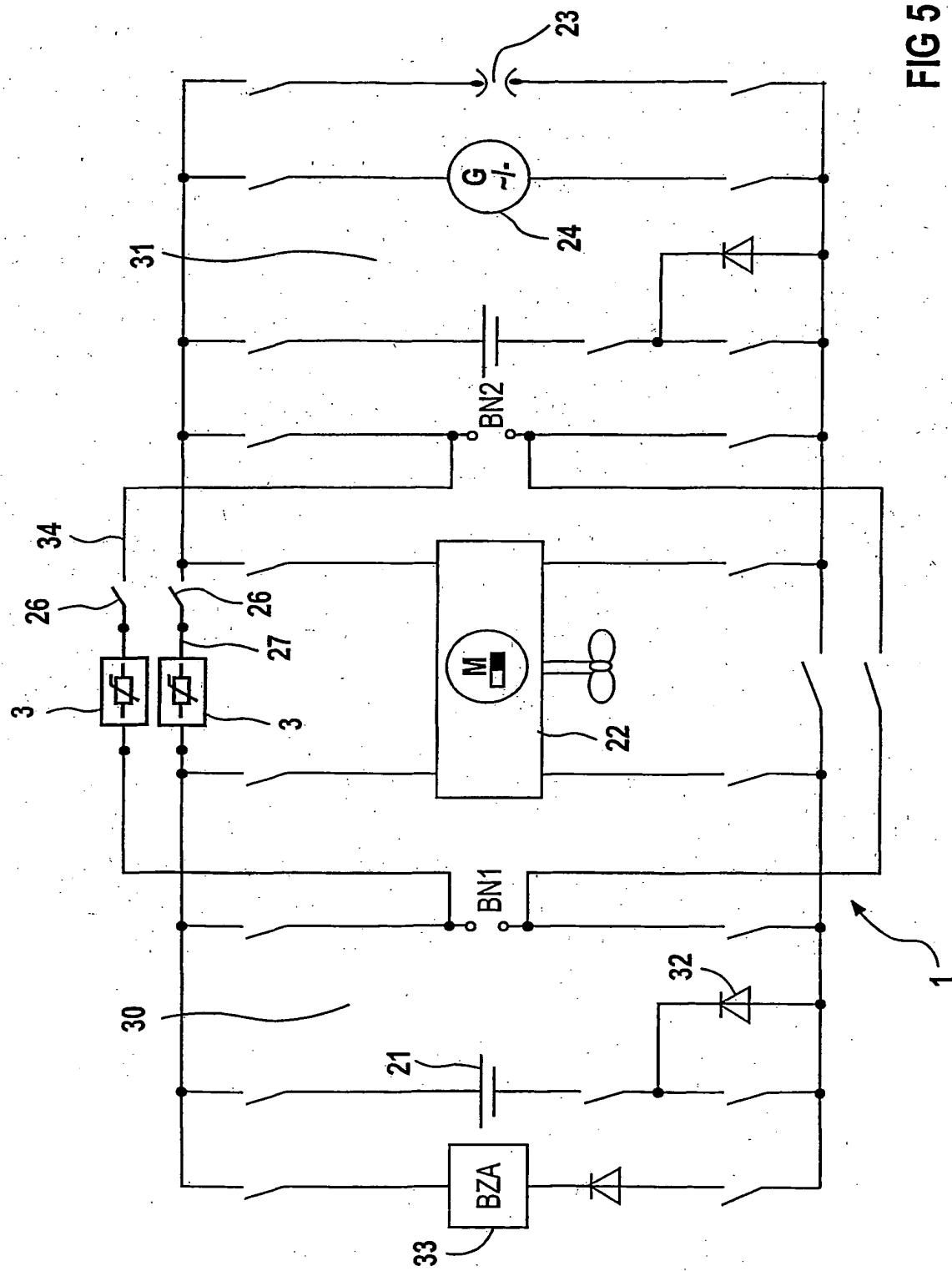
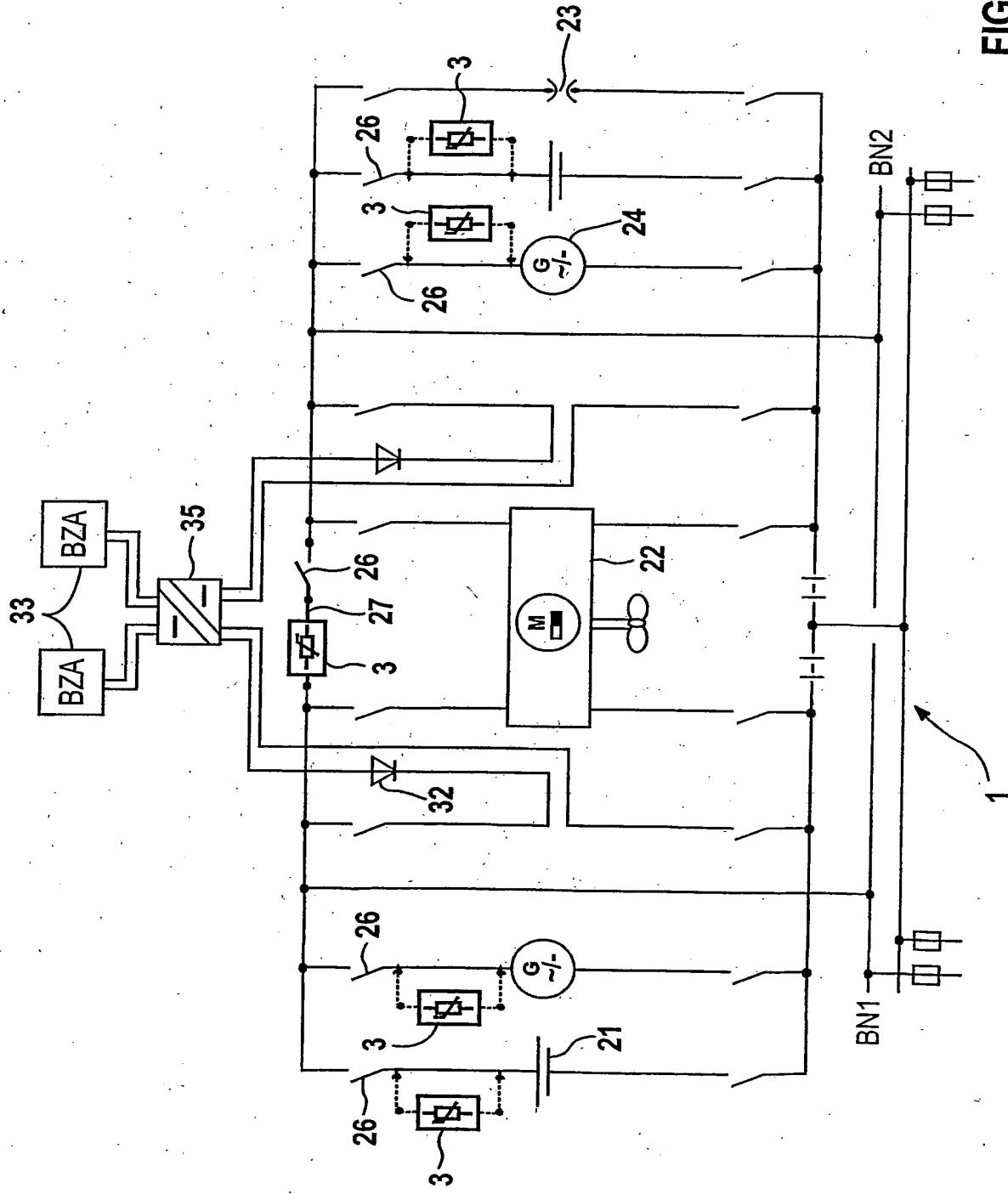


FIG 5

6/7

FIG 6



7/7

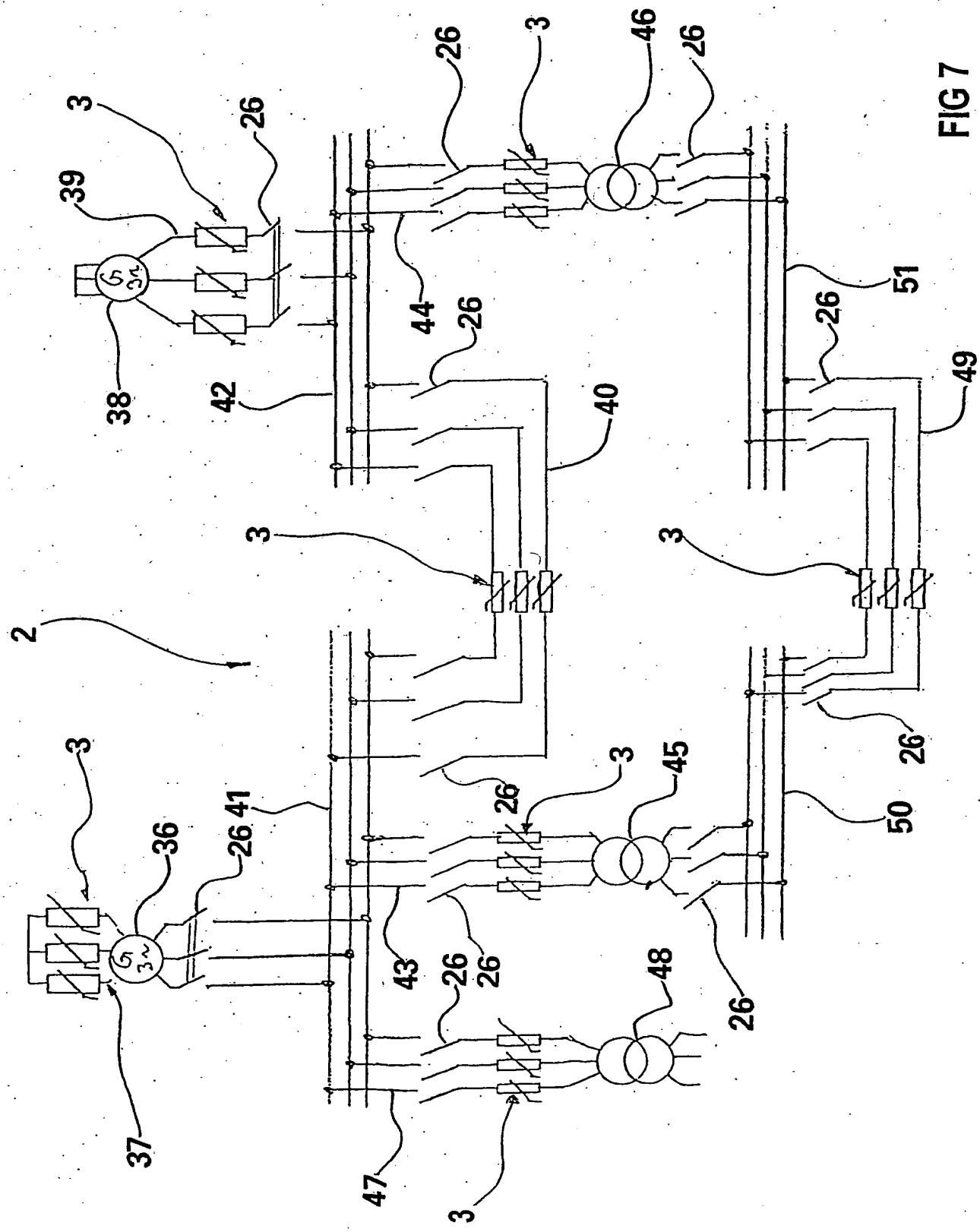


FIG 7

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Int. Application No.  
PCT/DE 01/03056

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
IPC 7 H02H9/02 H02H7/26

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
IPC 7 H02H

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 98 27635 A (ASEA BROWN BOVERI ;BERNHOFF HANS (SE); EKBERG MATS (SE); LEIJON MA) 25 June 1998 (1998-06-25) page 25, line 22 - line 34 page 34, line 6 - line 16; figure 3	1-4
A	HODGES ET AL: "A fault control system using solid state circuit breakers and high temperature superconducting fault current limiters" POWER MODULATOR SYMPOSIUM, 1996., TWENTY-SECOND INTERNATIONAL BOCA RATON, FL, USA 25-27 JUNE 1996, NEW YORK, NY, USA, IEEE, US, 25 June 1996 (1996-06-25), pages 232-234, XP010205294 ISBN: 0-7803-3076-5 abstract	1



Further documents are listed in the continuation of box C.



Patent family members are listed in annex.

## \* Special categories of cited documents:

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

\*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

\*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

\*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

\*&\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

7 December 2001

Date of mailing of the international search report

14/12/2001

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Salm, R

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

Information on patent family members

In	ional Application No
PCT/DE	01/03056

Patent document cited in search report	Publication date		Patent family member(s)	Publication date
WO 9827635	A 25-06-1998	SE	515677 C2	24-09-2001
		SE	508556 C2	12-10-1998
		AU	2987697 A	15-07-1998
		AU	730114 B2	22-02-2001
		AU	2987897 A	31-07-1998
		BR	9714227 A	18-04-2000
		BR	9714794 A	11-07-2000
		CN	1246210 A	01-03-2000
		CN	1246213 A	01-03-2000
		EP	0950276 A1	20-10-1999
		EP	1008220 A1	14-06-2000
		JP	2001505758 T	24-04-2001
		JP	2001509357 T	10-07-2001
		PL	334091 A1	31-01-2000
		PL	334127 A1	14-02-2000
		SE	9604630 A	18-06-1998
		WO	9827635 A1	25-06-1998
		WO	9829929 A1	09-07-1998
		TR	9901969 T2	22-11-1999
		TR	9902195 T2	21-01-2000
		AP	843 A	07-06-2000
		AP	936 A	07-02-2001
		AU	714564 B2	06-01-2000
		AU	2987597 A	05-01-1998
		AU	2987797 A	15-07-1998
		AU	718706 B2	20-04-2000
		AU	2988497 A	05-01-1998
		AU	718681 B2	20-04-2000
		AU	2988697 A	05-01-1998
		AU	731065 B2	22-03-2001
		AU	3052197 A	05-01-1998
		AU	729780 B2	08-02-2001
		AU	3052397 A	05-01-1998
		AU	730450 B2	08-03-2001
		AU	3052497 A	15-07-1998
		AU	3053397 A	05-01-1998
		AU	5890298 A	25-08-1998
		AU	726018 B2	26-10-2000
		AU	5890398 A	25-08-1998
		BG	102926 A	30-06-1999
		BG	102944 A	30-07-1999
		BG	102964 A	31-05-1999
		BG	103009 A	30-06-1999
		BR	9709385 A	10-08-1999
		BR	9709391 A	10-08-1999
		BR	9709489 A	10-08-1999
		BR	9709619 A	10-08-1999
		BR	9713738 A	28-03-2000
		BR	9714793 A	11-07-2000
		BR	9807149 A	25-01-2000

# INTERNATIONAHLER RECHERCHENBERICHT

In: nationales Aktenzeichen  
PCT/DE 01/03056

A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
IPK 7 H02H9/02 H02H7/26

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
IPK 7 H02H

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank- und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	WO 98 27635 A (ASEA BROWN BOVERI ;BERNHOFF HANS (SE); EKBERG MATS (SE); LEIJON MA) 25. Juni 1998 (1998-06-25) Seite 25, Zeile 22 – Zeile 34 Seite 34, Zeile 6 – Zeile 16; Abbildung 3	1-4
A	HODGES ET AL: "A fault control system using solid state circuit breakers and high temperature superconducting fault current limiters" POWER MODULATOR SYMPOSIUM, 1996., TWENTY-SECOND INTERNATIONAL BOCA RATON, FL, USA 25-27 JUNE 1996, NEW YORK, NY, USA, IEEE, US, 25. Juni 1996 (1996-06-25), Seiten 232-234, XP010205294 ISBN: 0-7803-3076-5 Zusammenfassung	1

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen

\*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

\*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

\*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

\*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

\*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

\*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

\*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden

\*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

\*&\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

7. Dezember 2001

14/12/2001

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel: (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Salm, R

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Angaben zu Veröffentl  
, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 01/03056

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 9827635	A 25-06-1998	SE 515677 C2	24-09-2001
		SE 508556 C2	12-10-1998
		AU 2987697 A	15-07-1998
		AU 730114 B2	22-02-2001
		AU 2987897 A	31-07-1998
		BR 9714227 A	18-04-2000
		BR 9714794 A	11-07-2000
		CN 1246210 A	01-03-2000
		CN 1246213 A	01-03-2000
		EP 0950276 A1	20-10-1999
		EP 1008220 A1	14-06-2000
		JP 2001505758 T	24-04-2001
		JP 2001509357 T	10-07-2001
		PL 334091 A1	31-01-2000
		PL 334127 A1	14-02-2000
		SE 9604630 A	18-06-1998
		WO 9827635 A1	25-06-1998
		WO 9829929 A1	09-07-1998
		TR 9901969 T2	22-11-1999
		TR 9902195 T2	21-01-2000
		AP 843 A	07-06-2000
		AP 936 A	07-02-2001
		AU 714564 B2	06-01-2000
		AU 2987597 A	05-01-1998
		AU 2987797 A	15-07-1998
		AU 718706 B2	20-04-2000
		AU 2988497 A	05-01-1998
		AU 718681 B2	20-04-2000
		AU 2988697 A	05-01-1998
		AU 731065 B2	22-03-2001
		AU 3052197 A	05-01-1998
		AU 729780 B2	08-02-2001
		AU 3052397 A	05-01-1998
		AU 730450 B2	08-03-2001
		AU 3052497 A	15-07-1998
		AU 3053397 A	05-01-1998
		AU 5890298 A	25-08-1998
		AU 726018 B2	26-10-2000
		AU 5890398 A	25-08-1998
		BG 102926 A	30-06-1999
		BG 102944 A	30-07-1999
		BG 102964 A	31-05-1999
		BG 103009 A	30-06-1999
		BR 9709385 A	10-08-1999
		BR 9709391 A	10-08-1999
		BR 9709489 A	10-08-1999
		BR 9709619 A	10-08-1999
		BR 9713738 A	28-03-2000
		BR 9714793 A	11-07-2000
		BR 9807149 A	25-01-2000

1980 02 01 00:00:00

[REDACTED]